

# Ein Ansatz für die Differenzanalyse zwischen 3D-Punktwolken und 3D-Referenzgeometrie

RICO RICHTER<sup>1</sup> & JÜRGEN DÖLLNER<sup>2</sup>

*Zusammenfassung: Dieser Beitrag stellt ein Verfahren zur Detektion, Visualisierung und Analyse von Differenzen zwischen massiven 3D-Punktwolken und explizit spezifizierten 3D-Referenz-Geometrien vor. Das Verfahren basiert darauf, 3D-Punktwolkendaten mit Abstandsinformationen zu attributieren. Die Berechnung dieser Abstandsinformationen wird in einem Vorverarbeitungsschritt durchgeführt und kann auf beliebig große 3D-Punktwolken angewendet werden. Für die Visualisierung der Ergebnisse wird eine echtzeitfähige, punktbasierte 3D-Rendering-Technik verwendet. Mit diesem Verfahren können insbesondere interaktive 3D-Explorations- und Analysewerkzeuge entwickelt werden, die z. B. Aussagen über Veränderungen von Gebäuden, Bauwerken und Infrastruktureinrichtungen bzw. die Abweichungen zwischen Planungsmodell und Ist-Zustand sichtbar werden lassen.*

## 1 Einleitung

3D-Punktwolken repräsentieren eine zunehmend verfügbare Quelle von raumbezogenen, dreidimensionalen Geodaten. Insbesondere die Fortschritte bei der 3D-Scanner-Technologie ermöglichen es, großräumig Städte und Metropolregionen durch LiDAR-Befliegungen sowie Einzelobjekte und ihre Umgebungen mit stationären und mobilen Scannern mit hoher Geschwindigkeit und Abtastgenauigkeit in Form von 3D-Punktwolken zu erfassen. 3D-Punktwolken repräsentieren die räumliche Oberflächenstruktur zu einem bestimmten Zeitpunkt und werden z. B. zur Ableitung von 3D-Bauwerksmodellen, 3D-Geländemodellen (DTM), 3D-Oberflächenmodellen (DSM), 3D-Umgebungsmodellen oder 3D-Infrastrukturelementen verwendet. 3D-Punktwolken stellen somit wesentliche Rohgeodaten für den Aufbau und die Fortführung von virtuellen 3D-Raummodellen dar.

Die Differenzanalyse für 3D-Punktwolken behandelt folgende zwei Grundsituationen:

- Differenz zwischen einer gegebenen 3D-Punktwolke ("Ist-Zustand") und einer explizit spezifizierten 3D-Referenzgeometrie ("Soll-Zustand")
- Differenz zwischen zwei den gleichen räumlichen Bereich überdeckenden 3D-Punktwolken (Zustand zum "Zeitpunkt  $t$ " und "Zeitpunkt  $t+1$ ")

3D-Punktwolken eignen sich aufgrund der hohen Abtastdichte und räumlichen Genauigkeit für eine umfassende Visualisierung und Analyse in Bezug auf Planungsvorgaben sowie zeitliche Veränderungen. Aus Anwenderperspektive stellt sich z. B. die Frage, inwieweit eine 3D-Punktwolke den Planungsvorgaben, die z. B. in Form von 3D-Modellen, 3D-Streckenprofilen und Volumenkörpern spezifiziert sind, entspricht.

Eine direkte, kombinierte Visualisierung der 3D-Punktwolke und der 3D-Referenzgeometrie ist für die Detektion, Visualisierung und Analyse von Differenzen nur bedingt geeignet, da z. B.

1) Rico Richter, Hasso-Plattner-Institut, Universität Potsdam; E-Mail: [rico.richter@hpi.uni-potsdam.de](mailto:rico.richter@hpi.uni-potsdam.de)

2) Jürgen Döllner, Hasso-Plattner-Institut, Universität Potsdam; E-Mail: [doellner@hpi.uni-potsdam.de](mailto:doellner@hpi.uni-potsdam.de)

geringe Abweichungen der 3D-Punktwolke von Planungskörpern visuell kaum wahrgenommen werden können bzw. durch Verdeckung wesentliche Informationen visuell verloren gehen.

Liegen zwei oder mehr 3D-Punktwolkendatensätze für ein Gebiet vor, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten erfasst wurden, stellt sich die Frage, wie diese verglichen, visualisiert und analysiert werden können (BARBER et al., 2008). Die Differenzanalyse für 3D-Punktwolken aus stationären Scans ermöglicht z. B. Erkenntnisse über Zustandsveränderungen erfasster Objekte (v. GOSLIGA et al., 2006). Ein weiteres Beispiel ist der Vergleich von zwei 3D-Punktwolken aus LiDAR-Befliegungen, der Rückschlüsse auf bauliche Veränderungen zulässt. Detektiert werden können z. B. neu entstandene Gebäude, sodass u. a. virtuelle 3D-Stadtmodelle automatisch aktualisiert werden können (RICHTER & DÖLLNER, 2010b).

Eine direkte, kombinierte Visualisierung von mehreren 3D-Punktwolkendatensätzen ist für die Detektion, Visualisierung und Analyse von Differenzen praktisch ungeeignet, da aufgrund der Datendichte und Datenmenge Veränderungen visuell kaum erkannt werden können.

In diesem Beitrag wird ein Ansatz zur Differenzanalyse zwischen 3D-Punktwolken vorgestellt, der sowohl die Abweichungen von 3D-Punktwolken zu 3D-Referenzgeometrien, wie auch die Abweichung von zwei 3D-Punktwolken untereinander ermittelt und visualisiert. Die softwaretechnischen und computergrafischen Herausforderungen für die Analyse und Visualisierung liegen in der Massivität und Feingranularität der 3D-Punktwolken. Die Durchführung der Differenzanalyse für massive Datenmengen erfordert dazu eine Aufbereitung der Daten durch die Verwendung von räumlichen Datenstrukturen sowie Out-of-Core-Strategien, um die Analyse schnell, effizient und unabhängig von den verfügbaren Speicherressourcen durchzuführen zu können. Es wird darüber hinaus diskutiert, welche Ansätze für eine umfassende Differenzanalyse geeignet sind, um schnell und effizient Erkenntnisse z. B. über die Bebauung und den Zustand einzelner Bauwerke und ihrer Umgebung zu gewinnen.

## 2 Anwendung der Differenzanalyse

Bei der Differenzanalyse wird eine 3D-Punktwolke mit Abstandsinformationen angereichert, indem für jeden Punkt der minimale Abstand zu einer *3D-Referenzgeometrie* berechnet wird. Als Referenzgeometrie wird das Vergleichsobjekt bezeichnet, das für die Berechnung der Abstände zur 3D-Punktwolke verwendet wird. Die folgenden Geodaten können z. B. als Referenzgeometrie verwendet werden:

- 3D-Punktwolken (z. B. aus früheren LiDAR-Erfassungen)
- Digitale 3D-Oberflächenmodelle (DSM)
- Digitale 3D-Geländemodelle (DGM)
- Polygonale 3D-Modelle (z. B. 3D-Bauwerksmodelle)
- Volumenkörper (z. B. Lichtraumprofile)

Aus jeder 3D-Referenzgeometrie lassen sich Basisprimitiven ableiten (z. B. Punkte, Dreiecke und Linien), die die Oberfläche von Objekten oder Strukturen beschreiben. Im umgesetzten Ansatz ergibt sich der minimale Abstand eines Punktes zur Referenzgeometrie aus dem kleinsten

Abstand zur Menge der Basisprimitive. Das Resultat ist eine 3D-Punktwolke, die basierend auf den Anstandsinformationen visualisiert werden kann, indem z. B. verschiedene Farbabstufungen oder Farbverläufe für die Visualisierung verwendet werden.

Im Folgenden werden verschiedene Anwendungsfälle für die Differenzanalyse vorgestellt. Die Klassifikation basiert auf den verschiedenen Erfassungsmethoden und der daraus resultierenden Datencharakteristik der 3D-Punktwolke (z. B. Punktdichte, Punktverteilung).

## 2.1 Differenzanalyse für 3D-Punktwolken aus Befliegungen

Bei der Erfassung mittels LiDAR-Befliegungen entstehen 3D-Punktwolken mit einer überwiegend gleichmäßigen Punktverteilung auf horizontalen Oberflächen und einer Punktdichte von z. B. 20-30 Punkten pro Quadratmeter. Die Punktdichte an vertikalen Oberflächen, wie z. B. Gebäudefassaden, ist signifikant geringer. Insbesondere bei hohen Gebäuden und in dichter Bebauung werden nur wenige Punkte der Fassadenoberfläche erfasst.

In der Regel liegen bereits Fernerkundungsdaten sowie 3D-Stadtmodellldaten für ein Erfassungsgebiet vor, sodass sich die Frage nach den Unterschieden zu den bestehenden Geodaten, wie z. B. einer 3D-Punktwolke aus einer früheren Befliegung, einem Oberflächenmodell oder einem abgeleiteten 3D-Stadtmodell stellt.

Der Abstand der Punkte aus der erfassten 3D-Punktwolke zur 3D-Referenzgeometrie lässt Rückschlüsse darauf zu, ob ein Punkt durch die 3D-Referenzgeometrie im Datenbestand bereits repräsentiert wird. Punkte mit einem großen Abstand repräsentieren in der Regel noch nicht erfasste Bereiche und Objekte. Alle Punkte mit einem geringen Abstand zur 3D-Referenzgeometrie werden mit einer hohen Wahrscheinlichkeit durch diese bereits repräsentiert. Das Beispiel in Abb. 1 veranschaulicht die Ergebnisse der Differenzanalyse für eine 3D-Punktwolke, die mit einem höhenabhängigen Farbverlauf visualisiert wird, sodass markante Objekte wie z. B. der Baukran und der Gebäudekomplex mit ihrer Struktur wahrnehmbar werden (Abb. 1 links). Als 3D-Referenzgeometrie wurde eine 3D-Punktwolke aus einer früheren LiDAR-Befliegung verwendet. Die Abstände der Punkte zur 3D-Referenzpunktwolke werden

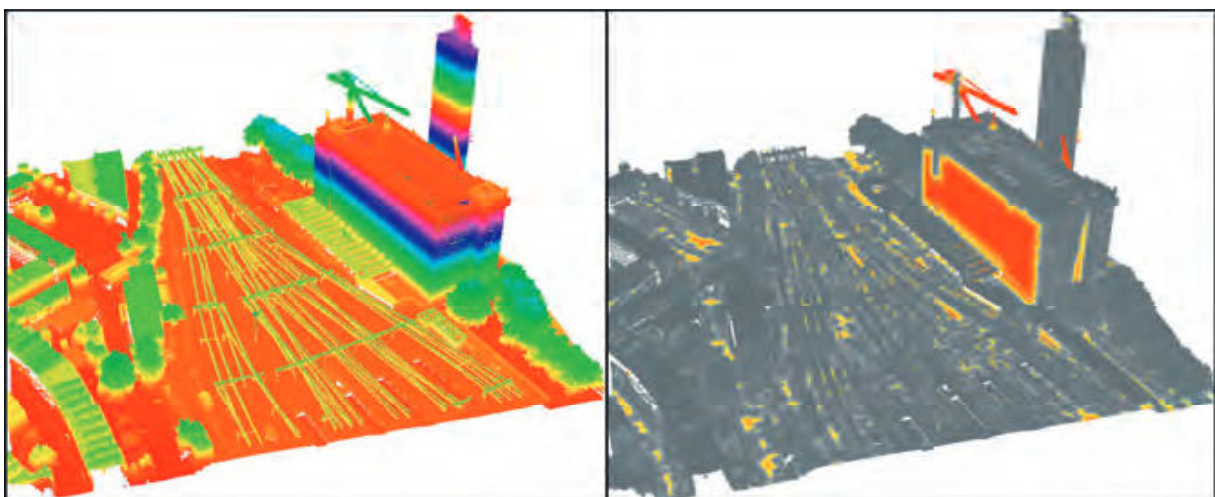


Abbildung 1: Differenzanalyse für eine 3D-Punktwolke, dargestellt mit Höheninformationen (links) und detektierten Unterschieden zur 3D-Referenzgeometrie (rechts).

mit einem Farbverlauf visualisiert. Alle Punkte ohne signifikanten Abstand zur Referenzgeometrie sind Grau dargestellt. Punkte mit einer Differenz zur Referenzgeometrie wurden mit einem Farbverlauf von Gelb (geringer Abstand) nach Rot (großer Abstand) dargestellt (Abb. 1 rechts). Die Ergebnisse im Beispiel verdeutlichen, dass der Kranausleger sowie die Gebäudefassade nicht durch die Referenzpunkt Wolke repräsentiert werden. Die Differenzen beim Kran ergeben sich durch unterschiedliche Ausrichtungen des Kranauslegers während der Erfassung. Die Unterschiede für die Punkte der Gebäudefassade entstehen, weil in der 3D-Referenzpunkt Wolke nahezu keine Punkte für die Fassade erfasst wurden, was auf die Befliegungsrichtung und Befliegungshöhe zurückzuführen ist.

Ein zweiter Anwendungsfall befasst sich mit 3D-Modellen eines Bauvorhabens. Mit Hilfe der Differenzanalyse soll hier ermittelt werden, welche Bereiche der 3D-Punkt Wolke aufgrund ihrer räumlichen Nähe zu den 3D-Modellen von dem Bauvorhaben betroffen sind. Um die Analyse durchzuführen, werden die 3D-Modelle in Dreiecksnetze überführt, sodass bei der Differenzanalyse der Abstand zu den durch die Dreiecke beschriebenen Oberflächen berechnet wird. Abb. 2 veranschaulicht die Ergebnisse für die Differenzanalyse zwischen einer 3D-Punkt Wolke und einer geplanten Hochspannungstrasse. Die Punkte werden in Abhängigkeit des Abstandes zur 3D-Referenzgeometrie eingefärbt, sodass z. B. für die Planung eines Bauvorhabens ersichtlich wird, welche Bereiche der erfassten Region von der Bebauung betroffen sind. Für diese Analyse können beliebige 3D-Modelle verwendet werden, wie z. B. virtuelle 3D-Stadtmodelle.

3D-Punkt Wolken werden häufig als Ausgangsbasis für die Erstellung, Aufbereitung und Fortführung von virtuellen 3D-Stadtmodellen genutzt (BRENNER, 2005, ZHOU, et al., 2008 LAFARGE et al., 2010). Die Differenzanalyse zwischen einer 3D-Punkt Wolke und einem 3D-Stadtmodell als 3D-Referenzgeometrie kann angewendet werden, um neue und veränderte

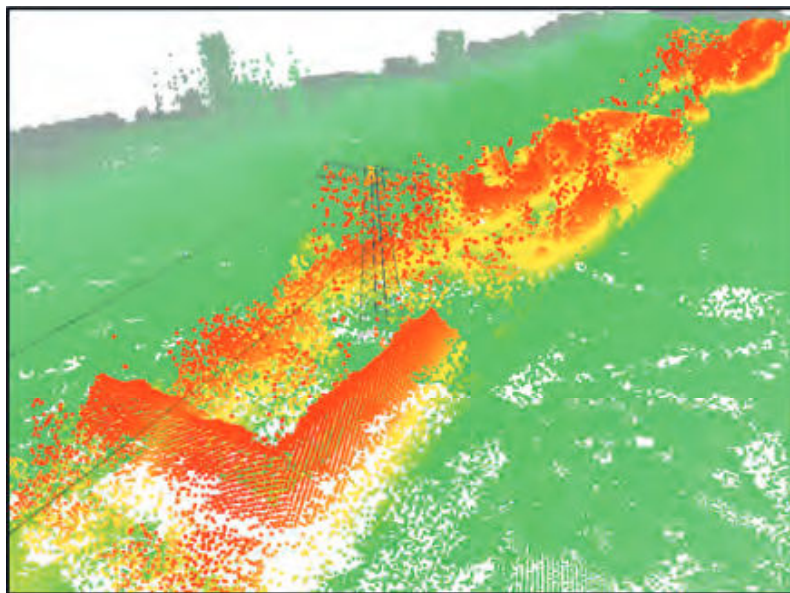


Abbildung 2: Differenzanalyse zwischen einer 3D-Punkt Wolke und einem 3D-Modell einer Hochspannungsleitung, visualisiert durch einen Farbverlauf basierend auf der Entfernung.



Bebauung sichtbar werden zu lassen bzw. um eine zielgerichtete und kostengünstige Aktualisierung des bestehenden virtuellen 3D-Stadtmodells durchzuführen (GRÖGER & PLÜMER, 2009); die im Allgemeinen aufwendige Rekonstruktion eines neuen virtuellen 3D-Stadtmodells kann somit vermieden werden (RICHTER & DÖLLNER, 2010b).

## **2.2 Differenzanalyse für 3D-Punktwolken aus mobilen und stationären Erfassungen**

3D-Punktwolken aus mobilen oder stationären Erfassungsvorgängen haben eine sehr hohe Punktdichte, die abhängig von der Entfernung zwischen Laserscanner und Objektoberfläche mehrere Punkte pro Quadratzentimeter betragen kann. Die Punktdichte verringert sich mit steigender Entfernung zwischen Laserscanner und Objektoberfläche. Die hohe Genauigkeit ermöglicht, im Gegensatz zu 3D-Punktwolken aus Befliegungen, eine aussagekräftige Qualitätsanalyse für einzelne Bauwerke auf Basis einer Differenzanalyse. Für die Differenzanalyse können u. a. die folgenden 3D-Referenzgeometrien verwendet werden:

- Volumenkörper (z. B. für Gebäude und Lichtraumprofile)
- Strecken und Kurven (z. B. für Gleisachsen und Stromleitungen)
- 3D-Punktwolken (z. B. aus früheren Vermessungen)
- Polygonale 3D-Modelle

Mobile und stationäre Erfassungen werden in der Regel für einen lokal begrenzten Bereich eingesetzt. Ein typischer Anwendungsfall ist das Überprüfen von Planungs- und Bauvorgaben, indem die tatsächliche Bebauung mit der Vorgabegeometrie verglichen wird. Abb. 3 zeigt die 3D-Punktwolke eines Tunnels, der mit einer Soll-Geometrie (Lichtraumprofil) verglichen wurde. Alle Punkte, die einen Mindestabstand zum Volumenkörper unterschreiten, werden in der Visualisierung hervorgehoben, sodass die Unterschiede zwischen der Planung und der tatsächlichen Bebauung sichtbar werden. Im dargestellten Beispiel hat der Tunnel an den schwarz visualisierten Bereichen keinen ausreichenden Abstand zum Volumenkörper.

Abb. 4 zeigt eine 3D-Punktwolke, die mit einem mobilen Scann-System erfasst wurde. Als ein Anwendungsfall soll überprüft werden, welche Objekte besonders dicht an der Gleistrasse liegen. Die Entfernung der Punkte wurde auf Basis der Gleisachse als 3D-Referenzgeometrie berechnet. Somit ist es möglich, Umgebungsobjekte (z. B. Vegetation) zu detektieren, die einen Mindestabstand zur Referenzgeometrie unterschreiten.

Die Differenzanalyse für zwei mobil oder terrestrisch erfasste 3D-Punktwolken ermöglicht analog zu 3D-Punktwolken aus LiDAR-Befliegungen das Detektieren von baulichen Veränderungen (GIRARDEAU-MONTAUT et al., 2005). Aufgrund der hohen Genauigkeit lassen sich auch kleinste Veränderungen an Bauwerken auffinden (MONSERRAT et al., 2008), die durch eine reine Visualisierung beider Datensätze nicht möglich wäre. Wenn sich die Punktdichten der beiden 3D-Punktwolken lokal stark unterscheiden, da die Objekterfassung von unterschiedlichen Standpunkten durchgeführt wurde, können für diese Bereiche keine sinnvollen Ergebnisse berechnet werden. Aus diesem Grund ist es erforderlich, 3D-Punktwolken mit einer ausreichenden Punktdichte in beiden 3D-Punktwolken für die zu analysierende Objektoberfläche zu verwenden.

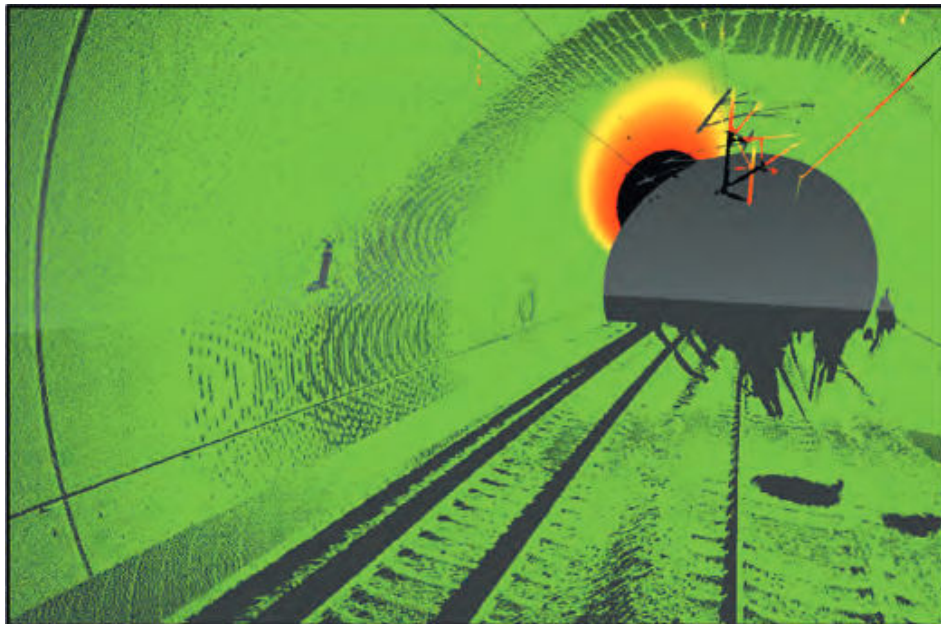


Abbildung 3: Differenzanalyse zwischen einer 3D-Punktwolke und einem Volumenkörper; schwarz dargestellte Bereiche kennzeichnen unzureichende Abstände.



Abbildung 4: Differenzanalyse für eine 3D-Punktwolke und eine Gleisachse als 3D-Referenzgeometrie, indem die Entfernung mit einem Farbverlauf visualisiert wurde.

### 3 Softwaretechnische Umsetzung

Da sich 3D-Punktwolken im Allgemeinen durch ihre Massivität auszeichnen, stellen insbesondere die Speicherung, Aufbereitung und Verarbeitung von beliebig großen Datenmengen softwaretechnische und computergrafische Herausforderungen dar (KREYLOS et al., 2008). Aus softwaretechnischer Sicht lassen sich die Abläufe für die Differenzanalyse in drei Phasen unterteilen:

- 1) Aufbereitung der Daten
- 2) Differenzanalyse zwischen 3D-Punktwolke und 3D-Referenzgeometrie
- 3) Visualisierung der mit Abstandsinformationen angereicherten Daten

Für die Aufbereitung wird die 3D-Referenzgeometrie in Basisprimitive wie Dreiecke oder Punkte unterteilt. Diese Basisprimitive werden in eine räumliche Datenstruktur überführt, um den schnellen und effizienten Zugriff auf Teilbereiche der Daten zu ermöglichen.

Während der Differenzanalyse wird für jeden Punkt der minimale Abstand zur 3D-Referenzgeometrie berechnet. Der minimale Abstand ist der kleinste Abstand aus der Menge aller euklidischen Abstände zwischen dem Punkt und den Basisprimitiven. Bei Dreiecken als 3D-Referenzgeometrie wird der minimale Abstand des Punktes zur Dreiecksfläche berechnet. Um die Anzahl der Abstandsberechnungen für einen Punkt der 3D-Punktwolke nicht zu allen Basisprimitiven durchführen zu müssen, wird die Menge der Basisprimitive eingeschränkt. Unter Verwendung der räumlichen Datenstruktur werden nur die Basisprimitive, die in unmittelbarer Nähe des Punktes liegen, ermittelt. Somit kann garantiert werden, dass die Abstandsberechnung nur für einen lokal begrenzten Teil der 3D-Referenzgeometrie durchgeführt wird und der Berechnungsaufwand damit beschränkt ist, um die Analyse auch für massive und geometrisch komplexe Datensätze durchführen zu können. Der berechnete Abstand wird als Attribut für jeden Punkt der 3D-Punktwolke gespeichert.

Das Ergebnis der Differenzanalyse ist eine 3D-Punktwolke mit Abstandsinformationen für jeden Punkt. Diese 3D-Punktwolke kann vom Renderingsystem durch die Verwendung einer punktbasierten Rendering-Technik (KOBELT & BOTSCH, 2004) visualisiert werden. Die Punkte werden in eine räumliche Datenstruktur überführt, die während des Renderings ausgewertet wird (RICHTER & DÖLLNER, 2010a). Die für die Darstellung nötigen Punkte werden ermittelt und zur Grafikkarte übertragen. Die Abstandsinformation wird zusätzlich zu den Koordinaten der Punkte zur Grafikkarte übertragen, sodass beim Rendering die Abstandsinformation auf Farbattribute abgebildet werden kann. In Abhängigkeit der Punktzahl erfordert die Visualisierung Out-of-Core-Algorithmen, um eine optimale Ausnutzung der verfügbaren endlichen Hardware-Ressourcen sicherzustellen (RICHTER & DÖLLNER, 2010a); das Renderingsystem ermöglicht dann die Darstellung und Exploration von massiven Daten in Echtzeit. Im realisierten Prototyp eines Differenzanalysewerkzeugs kann die Visualisierung vom Nutzer individuell angepasst werden, um die 3D-Punktwolken basierend auf der durchgeführten Differenzanalyse zu explorieren. Der Benutzer wird bei der Analyse unterstützt, indem zusätzlich zu den 3D-Punktwolken die 3D-Referenzgeometrien in einem gemeinsamen Kontext dargestellt

werden. Abb. 5 veranschaulicht den Aufbau und die Abläufe für den gesamten Prozess der Differenzanalyse.

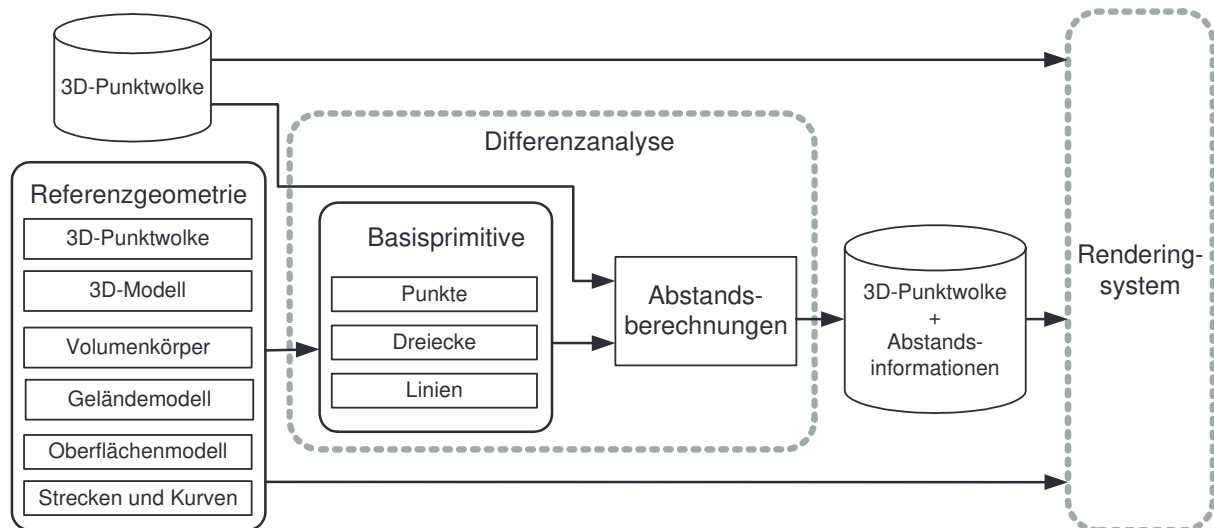


Abbildung 5: Übersicht über die Abläufe und den Aufbau des Systems für die Differenzanalyse von 3D-Punktwolken und 3D-Referenzgeometrien.

## 4 Fazit

In dieser Arbeit wurde ein Ansatz für die Differenzanalyse zwischen 3D-Punktwolken und 3D-Referenzgeometrie vorgestellt. Die Anwendungsfälle umfassen Soll-Ist-Zustandsvergleiche und Vergleiche zwischen unterschiedlichen zeitlichen Zuständen.

Die Differenzanalyse ermöglicht es, bestehende 3D-Referenzgeometrien mit neu erfassten 3D-Punktwolken zu vergleichen, um die Unterschiede zu detektieren und zu visualisieren. So lassen sich z. B. 3D-Punktwolken mit 3D-Modellen im Sinne von Planungsvorgaben vergleichen, um die Planung von Bauvorhaben zu erleichtern sowie durchgeführte Bauvorhaben zu validieren. Basierend auf den ermittelten Unterschieden können fundierte Aussagen über die Umgebung und den Zustand von Bauwerken gemacht werden. Der Vergleich von 3D-Punktwolken aus LiDAR-Befliegungen mit 3D-Stadtmodelldaten ermöglicht z. B. die flächendeckende Detektion von Veränderungen im städtischen Raum, um eine punktuelle Aktualisierung von 3D-Stadtmodellen vornehmen zu können.

In Zukunft arbeiten wir an einer parallelisierten Vorberechnung, die durch die Verwendung von modernen Mehrkernprozessoren und Grafikkarten ermöglicht wird. Darüber hinaus soll eine echtzeitfähige Differenzanalyse für 3D-Referenzgeometrien mit einer geringen Komplexität umgesetzt werden, sodass sich die interaktive Platzierung der 3D-Referenzgeometrie unmittelbar auf die Analyseergebnisse auswirkt.

Ein weiterer Aspekt ist die Klassifizierung von 3D-Punktwolken, die eine zielgerichtete Analyse ermöglicht, indem die Punkte semantischen Klassen wie z. B. Vegetation, Bebauung oder Gelände zugeordnet werden. Die Differenzanalyse könnte dann ausschließlich für einzelne semantische Klassen der 3D-Punktwolke durchgeführt werden, sodass z. B. die Veränderung von Vegetation oder Bebauung zielgerichtet untersucht werden können.



## Danksagung

Dieses Forschungsprojekt wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert und ist Teil der InnoProfile Nachwuchsforschergruppe 3D-Geoinformationen ([www.3dgi.de](http://www.3dgi.de)). Die verwendeten Datensätze wurden von Fa. virtualcitySYSTEMS und Fa. ARC-GREENLAB zur Verfügung gestellt.

## 5 Literaturverzeichnis

- BARBER, D. M., HOLLAND, D. & MILLS, J.P., 2008: Change detection for topographic mapping using three-dimensional data structures. – *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, S. 1177–1182.
- BRENNER, C., 2005: Building Reconstruction from Images and Laser Scanning. – *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, **6** (3-4): 187–198.
- GIRARDEAU-MONTAUT, D., ROUX, M., MARC, R. & THIBAUT, G., 2005: Change Detection on Points Cloud Data acquired with a Ground Laser Scanner. – *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing*, **36** (3/W19), S. 30–35.
- V. GOSLIGA, R., LINDENBERGH, R., PFEIFER, N., 2006: Deformation analysis of a bored tunnel by means of terrestrial laser scanning. – *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Systems*, **36** (5), S. 167–172.
- GRÖGER, G. & PLÜMER, L., 2009: Updating 3D city models: how to preserve geometric-topological consistency. – *Proceedings of the 17th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems*, S. 532–535.
- KOBBELT, L. & BOTSCH, M., 2004: A Survey of Point-Based Techniques in Computer Graphics. – *Computers & Graphics*, **28** (6), S. 801–814.
- KREYLOS, O., BAWDEN, G.W. & KELLOGG, L.H., 2008: Immersive Visualization and Analysis of LiDAR Data. – *International Symposium on Advances in Visual Computing*, S. 846–855.
- LAFARGE, F., DESCOMBES, X., ZERUBIA, J. & PIERROT-DESEILLIGNY, M., 2010: Structural Approach for Building Reconstruction from a Single DSM. – *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, S. 135–147.
- MONSERRAT, O. & CROSETTO, M., 2008: Deformation measurement using terrestrial laser scanning data and least squares 3D surface matching. – *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, **63** (1), S. 142–154.
- RICHTER, R. & DÖLLNER, J., 2010a: Out-of-Core Real-Time Visualization of Massive 3D Point Clouds. – *7th International Conference on Virtual Reality, Computer Graphics, Visualization and Interaction in Africa*, S. 121–128.
- RICHTER, R. & DÖLLNER, J., 2010b: Bestandsaktualisierung von 3D-Stadtmodellen durch Analyse von 3D-Punktwolken. – *Tagungsband 19 der 3-Ländertagung DGPF, Wien*.
- ZHOU, Q. & NEUMANN, U., 2008: Fast and extensible building modeling from airborne LiDAR data. – *Proceedings of the 16th ACM SIGSPATIAL international conference on Advances in geographic information systems*, S. 1–8.